

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 05 524 A 1**

51 Int. Cl. 7: G 01 J 5/20

G 01 J 5/20

②1) Aktenzeichen: 199 05 524.6 ✓  
②2) Anmeldetag: 10. 2. 1999 ✓  
④3) Offenlegungstag: 21. 9. 2000

⑦ Anmelder: STEAG RTP Systems GmbH, 89160 Dornstadt, DE

74 Vertreter:  
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

72 Erfinder:

⑤6) Entgegenhaltungen:  
DE 41 14 367 A1  
DE-OS 21 50 963  
US 558 41 110 A  
US 50 61 084 A  
WO 94 00 744 A1  
JP 5-187922 (A) in Pat. Abstr. of Japan,  
Sect.P, Vol.17 (1993) No.609 (P-1640);

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

#### 54 Vorrichtung und Verfahren zum Messen der Temperatur von Substraten

57 Bei einer Vorrichtung zum Messen der Temperatur von Substraten, insbesondere von Halbleiterwafern, mit mindestens einem Strahlungsdetektor zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung und einem das Sichtfeld des Strahlungsdetektors einschränkenden Element, das zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor angeordnet ist, ergibt sich eine korrekte Bestimmung der Substrattemperatur auch bei Vibratoren bzw. Verkippen des Substrats auf einfache Weise mit im wesentlichen geradlinig verlaufenden Rändern des Elements. Ein entsprechendes Verfahren ist ebenfalls angegeben.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Temperatur von Substraten, insbesondere von Halbleitersubstraten oder -wafers, mit mindestens einem Strahlungsdetektor zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung und einem das Sichtfeld des Strahlungsdetektors einschränkenden Element, das zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor angeordnet ist. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Messung einer Objekttemperatur eines Objekts, mit aus wenigstens einer wenigstens einem Heizelement umfassenden Heizvorrichtung zur Erwärmung des Objekts mittels elektromagnetischer Strahlung, mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor der innerhalb eines ersten Gesichtsfeldes die vom Objekt kommende Strahlung erfäßt.

Die im folgenden näher beschriebene Erfindung findet vorteilhafterweise in sogenannten RTP-Anlagen (Rapid Thermal Processor) Anwendung, in denen Wafer thermisch behandelt werden. RTP-Anlagen sowie die in diesen Anlagen eingesetzten Schnellheizverfahren sind aus den Druckschriften DE 44 37 361 C, DE 40 12 615 C, DE 42 23 133 C oder der DE 44 14 391 A sowie aus den US-Patentschriften 5 226 732, 5 359 693 und 5 628 564 bekannt. Weitere Schnellheizverfahren und Vorrichtungen sind in den Veröffentlichungen J. Nackos: 2nd International Rapid Thermal Conference, RTP'94. Monterey CA, Proc. p. 421–428 (1994), Arun K. Nanda, Terrence J. Riley, G. Miner et al. "Evaluation of Applied Materials Rapid Thermal Processor Using SEMA-TECH Metrologies for 0,25 µm Technology Thermal Applications" Part II, Presentation at the Rapid Thermal and Integrated Processing Conference MRS Spring Meeting '96, San Francisco CA und Terrence F. Riley, Arun K. Nanda G. Miner et al.: "Evaluation of Applied Materials Rapid Thermal Processor Using SEMA-TECH Methodologies for 0,25 µm Technology Thermal Applications" Part I. lbd sowie aus der Veröffentlichung R. Bremsendorfer, S. Marcus und Z. Nenyei: "Patterns Related Nonuniformities During Rapid Thermal Processing", Presentation at the Rapid Thermal and Integrated Processing Conference MRS Spring Meeting '96, San Francisco CA und der nachveröffentlichten Druckschrift Z. Nenyei, G. Wein, W. Lerch, C. Grunwald, J. Gelpay und S. Wallmüller: "RTP Development Requirements", presented at RTP '97 Conference Sept. 3–5, 1997 New Orleans beschrieben. Bei sämtlichen dieser Verfahren ist es notwendig, die Temperatur wenigstens in einem Punkt bzw. einem Flächenausschnitt des Objekts, Substrats oder Wafers oder der gesamten Substratfläche während des thermischen Behandlungsprozesses zu messen. Zur Temperaturmessung ist im allgemeinen wenigstens ein Strahlungsdetektor, z. B. ein Waferpyrometer vorgesehen, der bzw. das die vom Wafer kommende elektromagnetische Strahlung innerhalb eines Gesichtsfeldes mißt, welches durch eine Optik, z. B. durch eine Feldstopplinse, die im allgemeinen eine Lochlinse ist, definiert wird. Das Aufheizen des Wafers erfolgt durch die elektromagnetische Strahlung (im wesentlichen Wärme- oder Infrarotstrahlung) von Heizquellen, insbesondere von Stablampen, die langgestreckte virtuelle Bilder auf dem Wafer erzeugen. Beispielsweise wirkt ein Wafer aus Silizium bei Wafertemperaturen über etwa 600°C wie ein Spiegel mit einer Reflektivität von etwa 30%, so daß durch die spiegelnde Eigenschaft des Wafers virtuelle Bilder der Stablampen bzw. der Heizvorrichtung erzeugt werden. Im folgenden wird vereinfacht von virtuellen Bildern auf dem Wafer bzw. auf dem Substrat oder dem Objekt gesprochen.

Bei der Temperaturmessung wird im wesentlichen zwischen einseitig und zweiseitig beheizten Systemen unter-

schieden. Einseitig beheizte Systeme heizen den Wafer im wesentlichen nur von einer Seite auf. Die andere Seite hingegen ist der Temperaturmessung, z. B. mittels eines Waferpyrometers, vorbehalten. Dadurch wird eine von der Lampenstrahlung weitgehend ungestörte, vom Wafer oder einem Substrat emittierte Strahlung ermittelt, mittels der die Substrattemperatur bestimmt wird.

In Fig. 10 ist schematisch ein einseitig beheiztes System dargestellt. Das Substrat 6 wird von einer auf einer Seite des Substrats 6 angeordneten Lampenbank L erhitzt. Durch ein Waferpyrometer 8, das auf der der Lampenbank gegenüberliegenden Seite angeordnet ist, wird die vom Objekt emittierte Strahlung gemessen.

Nachteilig bei den einseitigen Heiz-Systemen ist, daß die Geschwindigkeit der Substratwärzung aufgrund der einseitigen Heizung begrenzt ist, wobei im allgemeinen zusätzliche unerwünschte, durch Strukturen an der Substratoberfläche bedingte Temperaturgradienten innerhalb des Substrats auftreten, insbesondere wenn die Strukturen auf der der Heizquelle zugewandten Seite des Substrats gebildet werden oder vorhanden sind. Ferner wird für die Systeme mit einseitiger Beheizung in der Regel eine hoch reflektierende Kammer benutzt, innerhalb der das Substrat prozessiert wird. Diese hoch reflektierende Kammer begrenzt die Abkühlrate des Substrats, was bei manchen Prozessen nachteilig ist. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß es bei hoch reflektierenden Kammerwänden zu Ablagerungen wie z. B. Kondensation kommen kann, wodurch deren Reflektivität geändert wird, was einen Temperaturdrift bewirkt.

Die oben genannten Nachteile lassen sich bei einem zweiseitig Heiz-System, wie es z. B. in DE 44 37 361 beschrieben ist, erheblich verringern und zum Teil ganz vermeiden, da bei zweiseitigen Heiz-Systemen das Substrat von oben und von unten beheizt wird und deshalb im allgemeinen auf eine hochreflektierende Kammer verzichtet werden kann. Ferner kann aufgrund der beidseitigen Heizung eine größere Heizgeschwindigkeit erreicht werden. Da das Substrat auch von der Rückseite her beheizt wird, die im allgemeinen keine Strukturen aufweist, lassen sich die oben genannten strukturbedingten Temperaturinhomogenitäten auf der Substratoberfläche erheblich verringern. Im Gegensatz zum einseitigen Heiz-System ist bei zweiseitiger Heizung die durch das Waferpyrometer gemessenen Strahlung aufgrund der reflektiven Eigenschaften des Substrats allerdings noch mit einer von den Lampen kommenden Störstrahlung überlagert. Das am Substrat reflektierte, von den Lampen kommende Licht und die daraus resultierenden virtuellen Lampenbilder, erscheinen für das Waferpyrometer je nach der Rauigkeit der Substratoberfläche mehr oder weniger diffus.

In Fig. 11 ist schematisch ein zweiseitiges Heiz-System dargestellt, welches auf beiden Seiten des Substrats 6 Lampenbänke L1 und L2 umfaßt. Zusätzlich sind die durch Reflexion am Substrat 6 entstehenden virtuellen Bilder V1 der Lampenbank L1 dargestellt. Die Lampenbänke L1, L2 können so angeordnet werden, daß deren virtuelle Bilder mit der jeweiligen anderen Lampenbank zur Deckung kommen. Wie aus Fig. 11 ersichtlich ist, mißt das Waferpyrometer innerhalb eines Gesichtsfeldes sowohl die vom Wafer emittierte Strahlung  $I_w$  als auch einen durch die reflektierenden Eigenschaften des Substrats bedingten Teil der Lampenstrahlung  $I_i r_i$ , wobei  $I_i$  die Lampenintensität der i-ten Lampe der Lampenbank L1 und  $r_i$  ein zur Lampe i gehöriger effektiver Reflexionskoeffizient des Substrats ist.

Ist das Substrat aus Silizium, so tritt bei Temperaturen unter 600°C die Überlagerung mit Störstrahlung sowohl bei einseitigen als auch bei zweiseitigen Heiz-Systemen auf, da Silizium in diesen Temperaturbereich für Infrarotstrahlung transparent ist, und das Waferpyrometer somit auch eine

durch das Substrat transmittierte Lampenstrahlung erfaßt. Das Waferpyrometer erfaßt also eine von den Lampen kommende, durch den Wafer transmittierte, und am Wafer reflektierte, sowie eine vom Wafer emittierte Strahlung, wobei der Anteil der einzelnen Komponenten von der Beschichtung des Substrats, der Substratdicke und/oder von der Substrattemperatur abhängt. Damit die transmittierte und die reflektierte Intensität der Lampen und ihrer virtuellen Bilder das Meßergebnis des Pyrometers nicht verfälschen, kann ein Teil der Wärmestrahlung der Lampen über mehrere Kanäle fächerartig einem Lampenpyrometer zugeführt werden. Die so gemessene Intensität kann zur Korrektur der vom Waferpyrometer gemessenen Intensität herangezogen werden. Dem Lampenpyrometer ist eine Abbildungsoptik, vorzugsweise eine Zylinderlinse, vorgeschaltet, die das Sichtfeld des Lampenpyrometers im wesentlichen rechteckförmig einschränkt. Durch die während des thermischen Behandlungsprozesses auftretenden Vibrationen, und thermisch bedingten Deformationen und Verkippungen des Wafers bewegen sich die virtuellen Bilder der Lampen relativ zu den Begrenzungen des Gesichtsfeldes des Waferpyrometers, so daß Änderungen in der vom Waferpyrometer gemessenen Intensität der Wärmestrahlung auftreten. Dabei wird insbesondere der Beitrag der Lampenstrahlung durch Reflexion verfälscht, wodurch ein Fehler in der Temperaturmessung resultiert. Wird z. B. bei der Messung der Wärmestrahlung mit dem Waferpyrometer zwischen dem Wafer und dem Waferpyrometer gesichtsfeldbegrenzende Lochblende verwendet, so treten Intensitätsschwankungen aufgrund des runden, kontinuierlichen Randes des eingeschränkten Sichtfeldes des Waferpyrometers auf. Dadurch werden die Meßwerte für die Temperatur der Waferfläche verfälscht.

Bei den oben genannten RTP-Anlagen umfaßt die Heizvorrichtung meist mehrere Heizelemente, z. B. in Form von Stablampen, so daß mittels einer geeigneten Steuervorrichtung die elektromagnetische Strahlung jedes Heizelements individuell einstellbar ist. Durch die Möglichkeit der Steuerung können sich neben den vielfältigen Vorteilen bezüglich der Temperaturhomogenität über die Waferoberfläche und der flexiblen Gestaltung des Heizprozesses auch Nachteile für die Temperaturbestimmung des Substrats oder Wafers ergeben, insbesondere dann, wenn herkömmliche Wafer- und Lampenpyrometer verwendet werden. So können, wie oben beschrieben, gesichtsfeldbegrenzende Elemente der Pyrometer, oder allgemeiner der Temperatursensoren, die Meßgenauigkeit der Temperatur nachteilig beeinflussen, insbesondere dann, wenn zur Temperaturbestimmung die Intensitäten von Wafer- und Lampenpyrometer verglichen werden, um z. B. den Einfluß der Reflexion der Lampenstrahlung an der Substratoberfläche zu korrigieren. Beispielsweise können sich z. B. die oben genannte Vibrationen des Substrats, aber auch mögliche Intensitätsänderungen einzelner Heizelemente der Heizvorrichtung störend auf das Meßergebnis auswirken, insbesondere wenn die Heizvorrichtung räumlich inhomogen abstrahlt.

Der Erfundung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen der Temperatur von Substraten anzugeben bzw. zu schaffen, mit dem bzw. mit der eine korrekte Bestimmung der Substrattemperatur auch bei Vibrationen bzw. Verkippungen des Substrats auf einfache Weise möglich ist.

Die gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Ränder eines zwischen dem Substrat und einem Strahlungsdetektor zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung angeordneten Elements im wesentlichen geradlinig sind.

Die auf diese Weise erreichte Einschränkung des Sichtfeldes des Strahlungsdetektors zur Messung der vom Substrat

emittierten Strahlung, beispielsweise eines Pyrometers, bietet gegenüber der bisher bekannten kreisförmigen Einschränkung des Sichtfeldes durch eine Lochblende den Vorteil, daß das Sichtfeld geradlinig begrenzt wird, so daß das 5 Pyrometer, nachfolgend auch Waferpyrometer genannt, trotz etwaiger Vibrationen oder Verkippungen des Substrats, beispielsweise eines Wafers, eine konstante Intensität der vom Wafer reflektierten Wärmestrahlung mißt, sofern die 10 durch die Vibrationen oder Verkippungen hervorgerufene Wanderung der virtuellen Lampenbilder nicht größer als die zu den Lampenbildern senkrechten Begrenzungslinien einer Polygonstufe bzw. eines Rechtecks ist.

Vorzugsweise ist das Element eine Polygonblende, Rechteckblende, Zylinderlinse oder ein als Zylinderlinse 15 wirkendes Abbildungssystem. Im Falle der Polygonblende wird ein polygonartig begrenztes, mehrfach gestuftes Sichtfeld des Waferpyrometers erzeugt. Im Falle der Rechteckblende wird dagegen ein rechteckiges Sichtfeld und im Falle der Zylinderlinse ein im wesentlichen rechteckiges Sichtfeld 20 erzeugt. Die Anwendung einer Zylinderlinse erweist sich insbesondere dann als vorteilhaft, wenn das Substrat eine rauhe Oberfläche aufweist, so daß diffuse virtuelle Lampenbilder durch Reflexion an der Objektoberfläche entstehen. Wie erwähnt wird durch die Zylinderlinse ein rechteckiges 25 Gesichtsfeld mit großem Öffnungswinkel senkrecht zur Zylinderachse erzeugt. Ist die Zylinderachse parallel zur Lampenachse angeordnet, so werden aufgrund der großen Öffnung auch diffuse virtuelle Lampenbilder bei Vibrationen oder Verkippungen des Wafers vollständig durch den ersten 30 Strahlungsdetektor, z. B. das Waferpyrometer erfaßt.

Vorzugsweise wird der Wafer durch Heizquellen, wie zum Beispiel Lampen, erwärmt. Dabei sind die Heizquellen vorteilhafterweise langgestreckte Heizelemente. Diese Heizelemente werden virtuell durch den Wafer abgebildet, so 35 daß, wie bei einem Spiegel, langgestreckte virtuelle Bilder der Heizelemente durch den Wafer erzeugt werden.

Die Einschränkung des Sichtfeldes des Waferpyrometers sollte allgemein so erfolgen, daß Begrenzungslinien des Sichtfeldes des Waferpyrometers senkrecht von den Lampenbildern geschnitten werden. Aufgrund der geradlinigen Begrenzung des Sichtfeldes ändert sich die auf das Waferpyrometer fallende Strahlung nicht, wenn der Wafer vibriert oder verkippt wird. Bei herkömmlichen runden Blenden würde bei einer Kippung oder Vibration des Wafers eine 45 Änderung der auf das Waferpyrometer auffallenden Lichtintensität auftreten.

Um den Beitrag der Lampenstrahlung in der von dem Waferpyrometer ermittelten Intensität zu eliminieren, wird die Wärmestrahlung der Lampen, beispielsweise fächerartig 50 über mehrere Kanäle einem weiteren Strahlungsdetektor, vorzugsweise einem Pyrometer, zugeführt und die so gemessene Intensität zur Korrektur der vom Waferpyrometer gemessenen Intensität herangezogen. Dieser Strahlungsdetektor wird nachfolgend als Lampenpyrometer bezeichnet. 55 Dem Lampenpyrometer kann eine Abbildungsoptik, vorzugsweise eine Zylinderlinse, vorgeschaltet sein, die das Sichtfeld des Lampenpyrometers im wesentlichen rechteckförmig einschränkt.

Es ist auch möglich, mehrere Waferpyrometer vorzusehen, die ebenfalls die von der Lampenstrahlung überlagerte Waferstrahlung messen. Ebenso können mehrere Lampenpyrometer vorgesehen sein.

Zur Bestimmung der Substrat- oder Objekttemperatur wird die gemessene Intensität des Waferpyrometers mit der 65 gemessenen Intensität des Lampenpyrometers in Relation gesetzt. Dies ist bei einer kreisförmigen Begrenzung des Sichtfeldes des Waferpyrometers mit einer Lochblende, insbesondere beim Auftreten von Wafervibrationen, nicht mög-

lich, da, bedingt durch die Lochblende, die vom Waferpyrometer gemessene Intensität dann ebenfalls fluktuiert.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung befindet sich ein optisches Abbildungssystem, z. B. ein Linsensystem zwischen dem Wafer und dem Waferpyrometer, welches die durch das Element begrenzte Waferfläche optisch auf das Waferpyrometer abbildet. Die Blende befindet sich dabei vorzugsweise in der Zwischenbildecke dieses Linsensystems.

Vorzugsweise ist für die erfundungsgemäße Vorrichtung eine Einrichtung zum Drehen des Wafers vorgesehen, um die Waferfläche gleichmäßig zu erwärmen.

Außerdem kann die erfundungsgemäße Vorrichtung nicht nur einen, sondern mehrere Waferpyrometer aufweisen. Hierbei liegen die rechteckigen Sichtfelder dieser Waferpyrometer vorteilhafterweise parallel, so daß bei einer Waferdrehung immer entsprechende Umsangsabschnitte der Waferfläche auf die Waferpyrometer abgebildet werden. Dabei werden wieder Begrenzungslinien der rechteckigen Sichtfelder senkrecht von den Lampenbildern senkrecht geschnitten. Da der Wafer gedreht wird, ist die parallele Anordnung der rechteckförmigen Sichtfelder nur auf einer Halbebene des Wafers notwendig. Der Fächer des Lampenpyrometers wird in entsprechender Weise angeordnet, so daß wiederum eine eindeutige Zuordnung der Intensität der Lampen zur Intensität der jeweiligen rechteckig begrenzten Waferfläche erfolgen kann. Bei dieser Anordnung ist ein einziges Lampenpyrometer ausreichend, welches dem Sichtfeld wenigstens eines der Waferpyrometer zugeordnet ist, sofern die Intensität über die Länge der Wendel innerhalb einer Lampe etwa konstant ist.

Die gestellte Aufgabe wird weiterhin durch ein Verfahren gelöst, bei dem das Sichtfeld des Waferpyrometers durch das Element zwischen dem Wafer und dem Waferpyrometer geradlinig begrenzt wird.

Aufgrund der geradlinigen Begrenzung des Sichtfeldes ändert sich die auf das Waferpyrometer fallende Strahlung nicht, wenn der Wafer vibriert oder verkippt wird. Bei herkömmlichen runden Blenden würde bei einer Kippung oder Vibration des Wafers eine Änderung der auf das Waferpyrometer auffallenden Lichtintensität auftreten.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird der Wafer durch mindestens eine vom Wafer abstandete Heizquelle erwärmt. Da die von der Heizquelle auf den Wafer fallende Strahlung bei Vibration oder Verkipfung des Wafers in einer anderen Richtung gespiegelt wird, ergibt sich bei geradliniger Sichtfeldbegrenzung wiederum keine Strahlungsintensitäts-Änderung für die auf das Waferpyrometer fallende Strahlung.

Bei einem Ausführungsbeispiel, bei dem ein zwischen dem Wafer und dem Waferpyrometer befindliches optisches Abbildungssystem, z. B. ein Linsensystem die durch das Element begrenzte Waferfläche optisch auf das Waferpyrometer abbildet, wird die vom Wafer auf das Waferpyrometer fallende Strahlung durch die Elementabbildung geradlinig begrenzt, wodurch wiederum die bereits zuvor genannten Vorteile erzielt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens, wird der Wafer während des Bestrahlungsvorgangs durch eine Rotationsvorrichtung gedreht, um eine möglichst gleichmäßige Temperaturänderung des Wafers und eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung über die Waferoberfläche hinweg zu erreichen. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn mehrere Waferpyrometer und zugeordnete, das Sichtfeld der Waferpyrometer mit linearer Abgrenzung beschränkende Elemente vorgesehen sind, die ihrerseits parallel zueinander liegen können.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrich-

tung zum Messen der Temperatur von Substraten, im nachfolgenden auch Objekte genannt, anzugeben, bei der die Temperaturbestimmung im wesentlichen unabhängig von Intensitätsänderungen der Heizvorrichtung und/oder ihrer virtuellen Bilder ist, bzw. daß in einer zweiten Ausführungsform der Erfindung, zur Ermittlung von Korrekturparametern, von einer Meßvorrichtung die von wenigstens einem Heizelement in das erste Gesichtsfeld gelangende elektromagnetische Strahlung bis auf eine intensitätsabhängige Funktion erfaßt wird.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einer Vorrichtung zur Messung einer Objekttemperatur eines Objekts, mit einer aus wenigstens einer wenigstens ein Heizelement umfassenden Heizvorrichtung zur Erwärmung des Objekts mittels elektromagnetischer Strahlung, mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor, der innerhalb eines ersten Gesichtsfeldes die vom Objekt kommende Strahlung erfaßt, wobei zur Ermittlung von Korrekturparametern von einer Meßvorrichtung die von wenigstens einem Heizelement in das erste Gesichtsfeld gelangende elektromagnetische Strahlung bis auf etwa eine intensitätsabhängige Funktion erfaßt wird. Diese Lösung wird nachfolgend als zweite Ausführungsform der Erfindung bezeichnet.

Gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung ergibt sich vorteilhaft, das sich Intensitätsänderungen (sowohl räumliche als auch zeitliche) der Heizvorrichtung und/oder ihrer virtuellen Bilder (z. B. durch Wafervibration) nicht auf die Temperaturmessung des Objekts auswirken. Dies ist dadurch bedingt, weil die gemessene Intensitäten sowohl von der Heizvorrichtung als auch von deren virtuellen Bildern die selben relativen Änderungen erfahren, und diese damit synchron sowohl vom ersten Strahlungsdetektor als auch von der Meßvorrichtung erfaßt werden. Dadurch kann, z. B. durch Verhältnisbildung der Intensitätswerte, der Einfluß der Intensitätsänderungen (sowohl räumlich als auch zeitlich) auf die Temperaturmessung kompensiert werden. Dabei ist es vorteilhaft, wenn die intensitätsabhängige Funktion, die auch einen intensitätsunabhängigen Proportionalitätsfaktor einschließt, für jedes Heizelement etwa gleich ist.

Die Meßvorrichtung kann dabei eine Impedanzmessung der Heizelemente umfassen, um über eine Impedanz-Intensitätsrelation die von den Heizelementen emittierte Intensität zu ermitteln. Alternativ oder zusätzlich können zur Temperaturmessung der Heizelemente Thermoelemente eingesetzt werden, um über eine Temperatur-Intensitätsrelation die emittierte Intensität der Heizelemente zu bestimmen.

Ferner kann die Meßvorrichtung auch einen zweiten Strahlungsdetektor umfassen, wobei vorteilhaft der zweite Strahlungsdetektor innerhalb eines zweiten, die intensitätsabhängige Funktion oder den Proportionalitätsfaktor mitbestimmenden Gesichtsfeldes die von den Heizelementen emittierte Strahlung erfaßt, wobei unter der Annahme eines für die elektromagnetischen Strahlung als Spiegel wirkenden Objekts das erste und das zweite Gesichtsfeld in wenigstens einer räumlichen Dimension nahezu gleich sind. Allgemein kann die Art der Übereinstimmung der Gesichtsfelder des ersten und zweiten Strahlungsdetektors (oder der Strahlungsdetektoren) der Geometrie der Heizquelle bzw. der Heizelemente der Heizquelle angepaßt werden.

Es kann ferner vorteilhaft sein, mit mehreren Strahlungsdetektoren (zweite Strahlungsdetektoren) die vom Objekt kommende Strahlung zu messen, wobei die Gesichtsfelder im Hinblick auf die Objektoberfläche auf verschiedenen Oberflächenbereiche des Objekts begrenzt sind, und deren Gesichtsfelder in wenigstens einer räumlichen Dimension etwa dem des Gesichtsfeldes des zweiten Strahlungsdetektors entsprechen. In entsprechender Analogie können auch mehrere Strahlungsdetektoren (erste Strahlungsdetektoren)

zur Messung der von der Heizvorrichtung, z. B. den einzelnen Heizelementen, emittierten Strahlung vorgesehen sein.

Mehrere Strahlungsdetektoren zur Messung der vom Objekt kommenden Strahlung sind besonders dann vorteilhaft, wenn das Objekt mittels einer Rotationsvorrichtung drehbar ist. Dann können durch die Anordnung der zweiten Strahlungsdetektoren, im Bezug auf die Rotationsachse der Rotationsvorrichtung, Oberflächenbereiche des Objekts in unterschiedlichen radialen Abständen erfaßt werden, was die Erfassung eines radialen Temperaturprofils ermöglicht. Erst diese ortsselektive Temperaturbestimmung des Objekts ermöglicht es, über eine Steuerung der Heizelemente der Heizvorrichtung, z. B. von stabförmigen Lampen insbesondere Halogen- oder Bogenlampen, ein in weiten Grenzen regelbares radiales Temperaturprofil über den Wafers einzustellen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn über eine Steuervorrichtung die abgegebene elektromagnetische Strahlung jedes Heizelements individuell einstellbar ist.

Da z. B. die Temperaturabweichungen von den Sollwerten bei einem 300 mm Wafer bei einer mittleren Wafertemperatur von 1000°C z. B. weniger als 2°C betragen dürfen, ist ein nahezu fehlerfreies Erfassen der elektromagnetischen Strahlung durch die Strahlungsdetektoren notwendig. Dies wird jeweils durch die beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zuverlässig ermöglicht.

Ferner ist es weiter vorteilhaft, wenn die Gesichtsfelder der Strahlungsdetektoren der Symmetrie der Heizelemente angepaßt sind. So können z. B. bei stabförmigen Heizelementen durch geeignete Mittel wie Blenden und/oder einem optischen Abbildungssystem bestehend aus Linsen, Fresnellinsen und/oder Zonenplatten z. B. ein rechteckiges Gesichtsfeld definiert werden. Besteht die Heizvorrichtung aus parallel zueinander angeordneten stabförmigen Heizelementen, so werden vorteilhafterweise die Gesichtsfelder der Strahlungsdetektoren im wesentlichen durch koaxial zu den Heizelementen angeordneten Zylinderlinsen bestimmt. Dies hat den Vorteil, daß sich senkrecht zur Zylinderlinsenachse ein Gesichtsfeld öffnet, wodurch die über einen großen Winkel integrierte Reflektivität des Objekts bestimbar ist. Ferner ist die Intensitätsbestimmung mit derartigen Gesichtsfeldern unsensitiv auf Vibratoren des Objekts (Wafers). Allgemein läßt sich die Begrenzung der Gesichtsfelder derart gestalten, daß unter der Annahme eines für die elektromagnetischen Strahlung der Heizvorrichtung spiegelnden Objekts eine geringfügige Verschiebung eines Gesichtsfeldes und des Heizelementes relativ zueinander die durch die Strahlungsdetektoren bestimmte Intensität im wesentlichen nicht beeinflußt. Die Art der Gestaltung hängt dabei im allgemeinen von der Geometrie der Heizvorrichtung bzw. der Heizelemente ab.

Die Erfindung wird nachstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 12 erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Einrichtung zum thermischen Behandeln von Wafers zur Erläuterung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach der ersten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 einen Querschnitt entlang der in Fig. 1 eingezeichneten Schnittlinie II-II,

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Linsensystems, das in Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung einsetzbar ist,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel für ein das Sichtfeld des Waferpyrometers begrenzenden Elements in Form einer Polygonblende,

Fig. 5 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform eines das Sichtfeld

des Waferpyrometers begrenzenden Elements,

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform mit mehreren Waferpyrometern,

Fig. 8 eine schematische Darstellung einer Heizvorrichtung mit stabförmigen, parallel zueinander angeordneten Lampen, und die durch die Spiegelwirkung des Objekts entstehende virtuellen Heizquelle mit den virtuellen Lampenbildern,

Fig. 9 eine Draufsicht einer schematischen Darstellung mit mehreren Waferpyrometern, deren Gesichtsfeld im wesentlichen durch koaxial zu den stabförmigen Lampen der Heizvorrichtung angeordneten Zylinderlinsen bestimmt ist,

Fig. 10 eine schematische Darstellung eines RTP-Systems mit einseitiger Heizung, gemäß dem Stand der Technik,

Fig. 11 eine schematische Darstellung eines RTP-Systems mit zweiseitiger Beheizung, gemäß dem Stand der Technik, und

Fig. 12 eine schematische Darstellung eines zweiseitig beheizten RTP-Systems mit Wafer- und Lampenpyrometer.

Der in Fig. 1 und 2 dargestellte Schnellheizofen weist ein Gehäuse 1 auf, an dessen oberer und unterer Innenwand jeweils eine aus mehreren Einzellampen oder Einzellampenröhren 2, 3 bestehende Lampenbank 4, 5 angebracht ist, die einen Halbleiterwafer 6 aufheizen, der in einer Reaktionskammer 7 zwischen den Lampenbänken 4, 5 im Gehäuse 1 angeordnet ist.

Vorteilhafterweise besteht die Reaktionskammer 7 im wesentlichen aus einem für die Lampenstrahlung im wesentlichen transparenten Material, das auch hinsichtlich der Meßwellenlängen oder der Meßwellenlängenspektren der Pyrometer oder der verwendeten Strahlungsdetektoren transparent ist. Mit Quarzgläsern und/oder Saphir, die einen über das Lampenspektrum gemittelten Absorptionskoeffizienten von etwa 0.1 1/cm bis 0.001 1/cm haben, lassen sich geeignete Reaktionskammern für Schnellheizsysteme aufbauen, bei denen die Dicke der Reaktionskammerwand zwischen 1mm und mehreren Zentimetern betragen kann. Je nach Reaktionskammerwanddicke kann die Materialauswahl hinsichtlich des Absorptionskoeffizienten erfolgen.

Kammerwanddicken im Zentimeterbereich sind insbesondere dann erforderlich, wenn in der Reaktionskammer 7 ein Unterdruck, gegebenenfalls bis hin zum Ultra-Hochvakuum, oder ein Überdruck erzeugt werden soll. Beträgt beispielsweise der Reaktionskammer-Durchmesser etwa 300 mm, so erhält man mit einer Quarzglasdicke von ca. 12 mm bis 20 mm eine hinreichende mechanische Stabilität der Kammer 7, so daß sie evakuierbar ist. Die Reaktionskammer-Wanddicke wird entsprechend dem Wandmaterial, der Kammergröße und der Druckbelastungen dimensioniert.

Als Lampen werden bevorzugt Halogenlampen verwendet, deren Filament wenigstens teilweise eine Wendelstruktur aufweisen. Durch eine wenigstens teilweise Wendelstruktur läßt sich vorteilhaft ein bestimmtes vordefiniertes geometrisches und spektrales Abstrahlprofil der Lampe erreichen. Hierbei kann das Filament der Lampe z. B. abwechselnd gewendete und ungewendete Filamentabschnitte umfassen. Sowohl das geometrische als auch das spektrale Abstrahlprofil ist in diesem Falle im wesentlichen durch den Abstand benachbarter gewendeter Filamentabschnitte bestimmt. Eine weitere Möglichkeit, das Lampenabstrahlprofil zu definieren, besteht z. B. darin, daß die Dichte der Filamentstruktur, die Wendeldichte entlang des Filaments variiert wird.

Soll das Lampenprofil steuerbar sein, so lassen sich vorteilhaft Lampen, vorzugsweise Stablampen, mit mehreren einzelnsteuerbaren Filamenten einsetzen. Lampen mit steuerbarem Lampenprofil sind insbesondere in Schnell-

heizanlagen zur Wärmebehandlung großflächiger Substrate, wie z. B. 300 mm-Halbleiterwafer, vorteilhaft, da sich mit diesen Lampen und einer geeigneten Lampenansteuervorrichtung ein sehr homogenes Temperaturprofil entlang der Substratoberfläche erzielen lässt. Durch die Superposition der Einzelabstrahlprofile der Filamente ergibt sich ein in weiten Bereichen einstellbares Gesamtabstrahlprofil der Lampe. Im einfachsten Falle umfaßt z. B. eine Halogenlampe zwei Filamente, z. B. jeweils mit Wendelstruktur oder wenigstens teilweise gewendelter Struktur, wobei die Wendeldichte und/oder der Abstand der gewendelten Filamentabschnitte des ersten Filaments vom ersten Ende zum zweiten Ende der Lampe zunimmt, und die Wendeldichte und/oder der Abstand der gewendelten Filamentabschnitte des zweiten Filaments entsprechend umgekehrt vom ersten zum zweiten Ende der Lampe abnimmt. Das Gesamtabstrahlprofil kann somit durch die Wahl der Stromstärke in den beiden Filamenten in weiten Bereichen variiert werden. Eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit einer Lampe mit steuerbarem Abstrahlprofil besteht darin, daß das Filament der Lampe wenigstens drei elektrische Anschlüsse umfaßt, wobei jeweils zwischen den Anschläßen unterschiedliche Betriebsspannungen gelegt werden. Dadurch läßt sich abschnittsweise die Filamenttemperatur, und damit die Abstrahlcharakteristik der Lampe entlang des Filaments steuern.

Alternativ zu den bisher beschriebenen Lampen lassen sich auch Plasma- oder Bogenlampen einsetzen, wobei auch hier das Abstrahlprofil einstellbar ist. So läßt sich beispielsweise das Lampenspektrum über die Stromdichte vom UV-Bereich bis hin zum nahen Infrarot einstellen.

Aus Fig. 1 ist ersichtlich, daß ein Waferpyrometer 8, das auf der Unterseite des Gehäuses 1 angeordnet ist, über eine kleine Öffnung 9, die vorzugsweise, jedoch nicht notwendigerweise, im Zentrum des zu behandelnden Wafers 6 in einer Gehäusewandung ausgebildet ist, elektromagnetische Strahlung mißt, die vom Wafer 6 emittiert und reflektiert wird. Zusätzlich wird bei Siliziumwafern bei Temperaturen unter 600°C auch transmittiertes Licht gemessen. Es ist jedoch auch möglich, mehrere, parallel zur Waferfläche angeordnete Pyrometer zu verwenden, wie dies in den Fig. 7 und 9 dargestellt ist und nachfolgend beschrieben wird.

Vorrichtungen der zuvor beschriebenen Art sind beispielsweise in den nicht vorveröffentlichten DE 197 37 802 A, DE 197 54 385 A und DE 197 54 386 A derselben Anmelderin beschrieben, auf die zur Vermeidung von Wiederholungen Bezug genommen und die insofern zum Inhalt der vorliegenden Anmeldung gemacht werden.

Auf der Unterseite des Schnellheizofens ist eine optische Strahlungsmeßvorrichtung angeordnet, die ein Pyrometer 10 und – wie in Fig. 2 gezeigt – einen Kanalkörper 11 umfaßt, in dem Strahlungskanäle 12 fächerartig ausgebildet oder eingefräst sind. Dieses Pyrometer 10 dient der Messung der Intensität der elektromagnetischen Strahlung, die von den Lampen auf den Wafer emittiert wird. An der der Lampenbank abgewandten Seite des Kanalkörpers 11 ist eine Linsenoptik 14, vorzugsweise eine Zylinderlinse, so angeordnet, daß deren Brennlinie sich an oder in der Nähe einer Stelle befindet, an der sich die Achsen der Strahlungskanäle 13 schneiden, so daß die auf die Linsenoptik 14 fallende Strahlung in das Pyrometer 10 gelangt. Wie am besten aus Fig. 2 zu ersehen ist, sind die Strahlungskanäle 12 im Kanalkörper 11 so ausgebildet oder ausgerichtet, daß die jeweilige Wendel 15 der einzelnen Lampen 3 auf der verlängerten Längsachse 16 der jeweiligen Strahlungskanäle 12 liegen. Die Strahlungsquellen und/oder die Strahlungskanäle sind bevorzugt so angeordnet, daß das Lampenpyrometersignal von einem Lampen- oder Filamentabschnitt resul-

tiert, der frei von Filamenthaltevorrichtungen oder anderen, den Strahlungsfluß oder die Temperatur des durch die Strahlungskanäle beobachtenden Filament- oder Lampenabschnitts beeinträchtigenden Mitteln ist. Das Pyrometer 10 bzw. dessen Linsenoptik 14 "sieht" daher genau auf die jeweilige Lampenwendel 15, wodurch Hintergrundstrahlung, die nicht von der Lampenwendel 15 kommt, – wenn überhaupt – nur einen vernachlässigbar geringen Anteil am gesamten auf das Pyrometer 10, nachfolgend auch Lampenpyrometer genannt, fallenden Lichtes ausmacht.

Durch das Anbringen zusätzlicher Blenden oder Abdeckkungen in der Nähe der Lampenwendel und der jeweiligen Strahlungskanäle kann die Hintergrundstrahlung gezielt ausgeblendet werden.

15 In Fig. 3 ist ein zwischen dem Wafer 6 und dem Waferpyrometer 8 befindliches Linsensystem 17 gezeigt, das die durch eine Blende 18 begrenzte Waferfläche auf das Waferpyrometer 8 abbildet. Die Blende 18 befindet sich dabei vorzugsweise in der Zwischenbildebene des Linsensystems 17.

20 Als Blende wird dabei eine in Fig. 4 dargestellte Polygonblende 19 bzw. eine Rechteckblende verwendet. Die Länge der geradlinigen Begrenzung einer Polygonstufe 20 sollte dabei mindestens so groß sein wie die Strecke der durch Vibratoren oder Verkippungen des Wafers 6 erzeugten Wanderungen von Lampenbildern 21. Die Wanderung der Lampenbilder 21 von der Position 22 vor einer Verkippung oder

25 Vibration zu der Position 22' nach dieser Verkippung oder Vibration ist durch den Pfeil 23 beispielhaft verdeutlicht. Aufgrund der erfindungsgemäßen Maßnahme, die Ränder der Blende im wesentlichen geradlinig zur Bewegungsrichtung des Spiegelbildes auszurichten, entstehen durch die Verkippung für das Waferpyrometer keinerlei Intensitätsänderungen im Gegensatz zu Blenden mit gekrümmten Rändern, beispielsweise Lochblenden oder elliptisch geformten

30 Blenden, bei denen die auf das Waferpyrometer fallende Intensität von der Lageverschiebung oder Vibration abhängt. Die Größe der Polygonblende 19 bezüglich der bisher verwendeten Lochblende 24 ist in Fig. 5 gezeigt. Dieser Figuren ist zu entnehmen, daß die Fläche der Polygonblende 19, über die bei der Strahlungsmessung durch das Waferpyrometer 8 integriert wird, vorzugsweise genauso groß ist wie die entsprechende Integrationsfläche der bisher verwendeten Lochblende 24. Dies gilt auch für eine ellipsenförmige "Lochblende" sowie entsprechend für die Rechteckblende.

35 40 Eine weitere Ausführungsform einer polygonartig begrenzten Blende ist in Fig. 6 angegeben. In diesem Beispiel wird als Blende ein Kreisviertel verwendet, dessen normalerweise geradlinige Begrenzungslinien polygonstufenartig ausgeprägt sind.

45 Eine weitere Ausführungsform einer polygonartig begrenzten Blende ist in Fig. 6 angegeben. In diesem Beispiel wird als Blende ein Kreisviertel verwendet, dessen normalerweise geradlinige Begrenzungslinien polygonstufenartig ausgeprägt sind.

50 Eine im wesentlichen rechteckige Begrenzung des Sichtfeldes des Waferpyrometers 8 wird auch dadurch erreicht, daß man anstatt der im Zwischenbild des Linsensystems 17 befindlichen Rechteckblende eine Zylinderlinse 14 vor das Waferpyrometer 8 positioniert.

55 Alle Ausführungsformen des das Sichtfeld des Waferpyrometers 8 beschränkenden Elements sind so gestaltet, daß die Begrenzungslinien des Sichtfeldes geradlinig bzw. im Falle der Zylinderlinse im wesentlichen geradlinig sind, wobei Begrenzungslinien des Sichtfeldes vorzugsweise im wesentlichen senkrecht von den Lampenbildern 21 geschnitten werden, um die oben genannten Vorteile der Erfindung zu erzielen.

60 Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß in der erfindungsgemäßen Vorrichtung mehrere Waferpyrometer 8 mit parallel zueinanderliegenden Sichtfeldern verwendet werden. Dieser Fall ist in Fig. 7 gezeigt. Wiederum schneiden die Lampenbilder 21 Begrenzungslinien der Sichtfeldes der in diesem Fall mehreren Wa-

ferpyrometer 8 senkrecht. Außerdem kann der Wafer 6 während der thermischen Behandlung und der Temperaturmessung gedreht werden, wie durch den Pfeil 25 in Fig. 7 verdeutlicht wird. Durch die Drehung des Wafers reicht es aus, die parallel liegenden Sichtfelder nur auf einer Halbebene vorzusehen. Bei dieser Anordnung ist ein einziges Lampenpyrometer 10 ausreichend, welches dem Sichtfeld eines der Waferpyrometer zugeordnet ist, sofern die Intensität über die Länge der Wendel innerhalb einer Lampe konstant ist.

In Fig. 8 ist schematisch eine aus einer Lampenbank bestehende Heizvorrichtung 4 mit jeweils parallel zueinander angeordneten stabsförmigen Lampen L1 bis L10 dargestellt. In einem Abstand zur Lampenbank 4 ist ein Wafer oder ein Objekt 6 angebracht, welches die von der Lampenbank abgegebene elektromagnetische Strahlung teilweise reflektiert, und welches von dieser aufgeheizt wird. Ebenfalls dargestellt ist ein Waferpyrometer oder auch ein zweiter Strahlungsdetektor 8, das bzw. der die vom Objekt kommende Strahlung erfaßt. Diese Strahlung setzt sich im wesentlichen aus der durch das Objekt emittierten Strahlung und durch einen Reflexionsanteil der Lampenstrahlung zusammen. In der Praxis beträgt dieser Reflexionsanteil für Temperaturen über 600°C bei einem Siliziumwafer etwa 30%. Die virtuellen Spiegelbilder der Lampen L1 bis L10 sind mit V1 bis V10 ebenfalls dargestellt und bilden die virtuelle Lampenbank 4'. Das Waferpyrometer 8 hat ein durch einen Winkel  $\beta$  vorgegebene Gesichtsfeld (erstes Gesichtsfeld) und empfängt elektromagnetische Strahlung, die innerhalb dieses Gesichtsfeldes liegt.

In Fig. 8 ist ein weiteres Pyrometer, oder ein zweiter Strahlungsdetektor 10 dargestellt, das bzw. der die direkt von den Lampen L1 bis L10 der Heizvorrichtung 4 emittierten Strahlung mißt. Die Strahlung gelangt vorzugsweise mittels des in Fig. 2 dargestellten Kanalkörpers 11 zum Detektor 10. Auch das Pyrometer 10 hat ein durch einen Winkel  $\alpha$  vorgegebenes Gesichtsfeld (zweites Gesichtsfeld), welches die Anzahl der beobachteten Lampen definiert.

Um die Temperatur des Objekts möglichst genau zu bestimmen, werden entsprechend der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung das erste und das zweite Gesichtsfeld des Lampenpyrometers 10 und des Waferpyrometers 8 so gewählt, daß sie unter der Annahme eines für die elektromagnetische Strahlung spiegelnden Objekts 6 in wenigstens einer räumlichen Dimension gleich sind. Bei dem in Fig. 8 dargestellten Beispiel bedeutet dies, daß vom Waferpyrometer im wesentlichen derselbe Ausschnitt des virtuellen Spiegelbildes 4' der Lampenbank 4 erfaßt wird, der dem durch das Lampenpyrometer 10 erfaßten Ausschnitts der Heizvorrichtung 4 entspricht. Handelt es sich wie bei Fig. 8 um stabsförmige Lampen, die in axialer Richtung im wesentlichen homogen emittieren, so ist es ausreichend, wenn die durch die Lampen- und Waferpyrometer 10, 8 erfaßten Bildausschnitte in Richtung senkrecht zu den Lampenachsen etwa gleich sind. Dies läßt sich bei entsprechender Pyrometeranordnung z. B. durch gleiche Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  erreichen.

Vorteilhafterweise werden im gezeigten Beispiel die Gesichtsfelder der Pyrometer 8, 10 im wesentlichen über Zylinderlinsen festgelegt, deren Brennlinie parallel zu den stabsförmigen Lampen L1 bis L10 verlaufen. Durch die Zylinderlinse oder einer anderen geeigneten Abbildungsoptik oder durch Hinzufügen von Blenden lassen sich die Öffnungswinkel  $\alpha$  und  $\beta$  festlegen. Ist die Strahlungsintensität der Lampen entlang der Lampenachse etwa konstant (was im allgemeinen für einen Filamentabschnitt zutrifft), so können Zylinderlinsen unterschiedlicher Brennlinienlänge für die Pyrometer 8, 10 verwendet werden, da, wie oben beschrieben, es ausreichend ist, wenn die Gesichtsfelder der

Pyrometer 8 und 10 in Richtung senkrecht zur Lampenachse in wenigstens einer räumlichen Dimension etwa gleich sind. Damit ist sichergestellt, daß sowohl räumliche als auch zeitliche Änderungen der Intensitäten der Lampen und der virtuellen Lampenbilder sowohl durch das Wafer- als auch durch das Lampenpyrometer bis auf einen Proportionalitätsfaktor synchron erfaßt werden.

Entsprechend der vorliegenden Erfindung können z. B. neben den oben genannten Winkeln  $\alpha$  und  $\beta$ , die eine Ebene senkrecht zur Richtung der Lampenachse aufspannen, alternativ oder zusätzlich auch die Öffnungswinkel der Wafer- und Lampenpyrometer in Richtung der Lampenachse, d. h. z. B. in Richtung Achse der Zylinderlinsen, etwa gleich gewählt werden. Dies hängt im Wesentlichen von der Konstanz der Lampenintensität entlang der Lampenachse und der geforderten Meßgenauigkeit der Objekttemperatur ab.

In Fig. 9 ist schematisch eine Draufsicht auf einen Wafer 6 und auf eine Lampenbank 4 mit stabsförmigen, jeweils parallel zueinander angeordneten Lampen L1 bis L7 dargestellt. Durch eine Rotationsvorrichtung läßt sich der Wafer um die Achse A drehen. Die Fig. 9 zeigt die Anwendung mehrerer mit jeweils Zylinderlinsen Z1 bis Z7 versehenen Waferpyrometer. Dabei sind die Achsen der Zylinderlinsen parallel zu den Lampenachsen ausgerichtet, wodurch sich die Wafertemperatur, ähnlich wie in Fig. 7 dargestellt, radial erfassen läßt.

Im Gegensatz zu Fig. 7 sind die Waferpyrometer gemäß Fig. 9 entlang des Durchmessers des Wafers angeordnet, wobei sich bei einer bezüglich der Rotationsachse asymmetrischen Anordnung der Vorteil ergibt, daß selbst bei Wafern mit kleinen Durchmessern das radiale Temperaturprofil an ausreichend vielen Stellen gemessen werden kann, ohne die axiale Ausdehnung der Zylinderlinsen zu klein zu machen.

Mittels des radialen Temperaturprofils läßt sich mit einer Regelvorrichtung die Lampenbank steuern, wobei vorteilhaft jede einzelne Lampe individuell steuerbar ist. Damit läßt sich eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung über den Wafer erzielen. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß insbesondere bei einer Einzellampenansteuerung die Gleichheit der Gesichtsfelder (genauer die Gleichheit bis auf eine intensitätsabhängige Funktion oder einen Proportionalitätsfaktor) von Wafer und Lampenpyrometer eine notwendige Voraussetzung für eine hohe Meßgenauigkeit der Wafertemperatur ist, da nur dann die durch den Wafer reflektierte Intensität richtig korrigierbar ist.

Unter Gleichheit der Gesichtsfelder ist gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung zu verstehen, daß die Gesichtsfelder von Wafer- und Lampenpyrometer in Richtung inhomogener Intensitätsverteilungen der Heizvorrichtung bis auf einen Proportionalitätsfaktor (der auch 1 sein kann) oder im allgemeinen Falle bis auf eine bekannte intensitätsabhängige Funktion nahezu gleich sind. Im allgemeinen Falle werden vorteilhaft die Gesichtsfelder der Symmetrie der Abstrahlcharakteristik der Heizvorrichtung angepaßt. Dies kann z. B. durch die Wahl einer geeigneten Gesichtsfeldblende oder Abbildungsoptik, wie z. B. einer Polygonblende entsprechend der ersten Ausführungsform der Erfindung oder z. B. einer Zylinderlinse, erfolgen. Dadurch läßt sich z. B. erreichen, daß bei einer geringfügigen Verschiebung der Gesichtsfelder und der Heizelemente relativ zueinander die durch die Strahlungsdetektoren bestimmte Intensität im wesentlichen nicht beeinflußt wird. Dabei umfaßt der Begriff Heizelemente auch die etwaigen virtuellen Bilder der Heizvorrichtung, die durch eine teilweise Reflexion am Objekt entstehen.

Wie mit Hilfe von Fig. 12 verdeutlicht, kann im allgemeinen gemäß der zweiten Ausführungsform der Erfindung der zweite Strahlungsdetektor (das Lampenpyrometer) durch

eine Meßvorrichtung M ersetzt werden, die die von Heizelementen L<sub>1i</sub> der Heizquelle L<sub>1</sub>, vorzugsweise die von jedem Heizelement L<sub>1i</sub>, in das erste Gesichtsfeld des ersten Strahlungsdetektors 8 gelangende elektromagnetischen Strahlung I<sub>1i</sub> bis auf einen Proportionalitätsfaktor oder eine bekannte intensitätsabhängige Funktion erfaßt. Durch die reflektierenden Eigenschaften des Objekts (z. B. Wafers) 6 mißt der Strahlungsdetektor 8 neben der vom Objekt 6 in das erste Gesichtsfeld emittierten Strahlung I<sub>em</sub> auch eine von jedem Heizelement L<sub>1i</sub> der Lampenbank L<sub>1</sub> reflektierte Strahlung I<sub>1i</sub> · r<sub>i</sub>, welche scheinbar von dessen virtuellen Bildern V<sub>1i</sub> emittiert wird. Dabei ist r<sub>i</sub> ein effektiver, auf das Heizelement L<sub>1i</sub> bezogener Reflexionskoeffizient.

Der Strahlungsdetektor 8 mißt also insgesamt die Intensität I<sub>total</sub> = I<sub>em</sub> + Σ I<sub>1i</sub> · r<sub>i</sub>. Dabei ist vereinfacht angenommen, daß das Objekt 6 für die Strahlung der oberen Lampenbank L<sub>2</sub> (deren virtuelles Bild nicht dargestellt ist) opak ist.

Zur Ermittlung der vom Wafer emittierten Intensität I<sub>em</sub> ist also ein reflektiver Anteil Σ I<sub>1i</sub> · r<sub>i</sub> zu korrigieren. Die Meßvorrichtung M mißt im allgemeinen die Intensität I<sub>M</sub> = 20 c<sub>i</sub> · I<sub>1i</sub> für ein Heizelement L<sub>1i</sub>, wobei c<sub>i</sub> eine durch die Meßvorrichtung vorgegebenen Konstante oder bekannte intensitätsabhängige Funktion ist, die z. B. durch eine Kalibration ermittelbar ist.

Die Meßvorrichtung M kann z. B. eine Impedanzmessung der Heizelemente, vorzugsweise der Lampenfilamente, umfassen, oder es kann z. B. die Filamenttemperatur der Lampen durch geeignet angebrachte Thermoelemente ermittelt werden, wobei die Funktionen oder Konstanten c<sub>i</sub> dann z. B. über Impedanz-Intensitäts- bzw. Temperatur-Intensitäts-Relationen bestimmt werden.

Erfindungsgemäß gilt c<sub>i</sub> · I<sub>1i</sub> = k<sub>i</sub> · I<sub>1i</sub> · r<sub>i</sub>, wobei k<sub>i</sub> eine zum Heizelement L<sub>1i</sub> gehörige intensitätsabhängige Funktion oder ein Proportionalitätsfaktor ist. Vorzugsweise wird die Meßvorrichtung so gewählt, daß die k<sub>i</sub> für alle Heizelemente L<sub>1i</sub> etwa (bis auf Meßfehler) gleich sind, was insbesondere das Kalibrationsverfahren erheblich vereinfacht. Dies läßt sich z. B. mit der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsform mit  $\alpha = \beta$  erreichen. Damit kann mit Hilfe der Meßvorrichtung bei Kenntnis von c<sub>i</sub>/k<sub>i</sub> oder c<sub>i</sub> und k<sub>i</sub> der Reflexionsanteil der durch den Strahlungsdetektor 8 erfaßten Intensität korrigiert werden, und mittels der vom Wafer emittierten Intensität I<sub>em</sub> ist dann die Temperatur des Objekts bestimmbar.

Um die Genauigkeit der Objekttemperatur weiter zu steigern, können vorteilhaft die erste und die zweite Ausführungsform der Erfindung miteinander kombiniert werden.

Die Erfindung wurde zuvor anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben. Dem Fachmann sind jedoch zahlreiche Abwandlungen und Ausgestaltungen möglich, ohne daß dadurch der Erfindungsgedanke verlassen wird.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen der Temperatur von Substraten, insbesondere von Halbleiterwafern, mit mindestens einem Strahlungsdetektor zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung und einem das Sichtfeld des Strahlungsdetektors einschränkenden Element, das zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor 55 angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Ränder des Elementes im wesentlichen geradlinig sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Element eine Blende ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende eine Polygonblende ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende eine Rechteckblende ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Element eine Zylinderlinse ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Abbildungsoptik zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Blende in einer Zwischenbildebene der Abbildungsoptik befindet.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Strahlungsdetektoren zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung vorgesehen sind, und daß die Sichtfelder der Strahlungsdetektoren zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung parallel liegen.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Drehen des Substrats.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein weiterer Strahlungsdetektor zur Messung der Wärmestrahlung von mindestens einer Heizquelle vorgesehen ist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das durch das Element eingeschränkte Sichtfeld des Strahlungsdetektors zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung dem Sichtfeld des Strahlungsdetektors zur Messung der Wärmestrahlung der Heizquelle zugeordnet ist.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungen der Heizquellen auf dem Substrat Begrenzungslinien des Sichtfeldes senkrecht schneiden, die durch das Element für den Strahlungsdetektor auf der Substratoberfläche gebildet werden.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsdetektoren Pyrometer sind.

14. Verfahren zum Messen der Temperatur von Substraten, insbesondere von Halbleiterwafern, mit mindestens einem Strahlungsdetektor zur Messung der vom Substrat emittierten Strahlung, dadurch gekennzeichnet, daß das Sichtfeld des Strahlungsdetektors durch ein Element zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor im wesentlichen geradlinig begrenzt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein zwischen dem Substrat und dem Strahlungsdetektor befindliches optisches Abbildungssystem die durch das Element begrenzte Substratfläche optisch auf den Strahlungsdetektor abbildet.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat gedreht wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat durch mindestens eine von dem Substrat beabstandete Heizquelle erwärmt wird.

18. Vorrichtung zur Messung einer Objekttemperatur eines Objekts, mit einer aus wenigstens einer wenigstens ein Heizelement umfassenden Heizvorrichtung zur Erwärmung des Objekts mittels elektromagnetischer Strahlung, mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor, der innerhalb eines ersten Gesichtsfeldes die vom Objekt kommende Strahlung erfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ermittlung von Korrek-

turparametern von einer Meßvorrichtung die von wenigstens einem Heizelement in das erste Gesichtsfeld gelangende elektromagnetische Strahlung bis auf etwa eine intensitätsabhängige Funktion erfaßt wird. 5

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die intensitätsabhängige Funktion für jedes Heizelement etwa gleich ist. 10

20. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung eine Impedanzmessung der Heizelemente umfaßt. 15

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung ein Thermoelement zur Messung der Temperatur der Heizelemente umfaßt. 20

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßvorrichtung einen zweiten Strahlungsdetektor umfaßt. 25

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Strahlungsdetektor innerhalb eines zweiten, die intensitätsabhängige Funktion mitbestimmenden Gesichtsfeldes die von dem Heizelement emittierte Strahlung erfaßt, und daß unter der Annahme eines für die elektromagnetische Strahlung als Spiegel wirkenden Objekts das erste und das zweite Gesichtsfeld in wenigstens einer räumlichen Dimension nahezu gleich sind. 30

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Objekt kommende elektromagnetische Strahlung von mehreren Strahlungsdetektoren erfaßt wird, deren erste Gesichtsfelder im Hinblick auf die Objektoberfläche auf verschiedene Oberflächenbereiche des Objekts begrenzt sind. 35

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gesichtsfelder in wenigstens einer räumlichen Dimension etwa dem des zweiten Gesichtsfeldes des zweiten Strahlungsdetektors entsprechen. 40

26. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt mittels einer Rotationsvorrichtung um eine Achse rotierbar gehalten wird. 45

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Objekt kommende Strahlung erfassenden Strahlungsdetektoren im Bezug auf die Rotationsachse der Rotationsvorrichtung Oberflächenbereiche des Objekts in unterschiedlichen radialen Abständen erfassen. 50

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Heizelemente der Heizvorrichtung abgegebene elektromagnetische Strahlung jeweils für jedes Heizelement durch eine Steuervorrichtung steuerbar ist. 55

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizelemente stabförmige Lampen umfassen. 60

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 18 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesichtsfelder der Strahlungsdetektoren der Symmetrie der Heizelemente angepaßt sind. 65

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eines der Gesichtsfelder der Strahlungsdetektoren durch eine ko-axial zu den stabförmigen Lampen angeordneten Zylinderlinse mitbestimmt wird. 65

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß unter der Annahme eines für die elektromagnetischen Strahlung als Spiegel wirkenden Objekts, die Ränder der zweiten Gesichtsfelder

so gestaltet sind, daß eine geringfügige Verschiebung der Gesichtsfelder und der Heizelemente relativ zueinander die durch die Strahlungsdetektoren bestimmte Intensität im wesentlichen nicht beeinflußt. 70

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat oder Objekt von einer Reaktionskammer umgeben ist, die im wesentlichen aus einem, für die elektromagnetische Strahlung der Strahlungsquellen und für das Spektrum der Meßwellenlängen der Strahlungsdetektoren, transparenten Material besteht. 75

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß das transparente Material Quarzglas und/oder Saphir umfaßt. 80

35. Vorrichtung nach Anspruch 33 oder 34, dadurch gekennzeichnet, daß das Material einen über das Lampspektrum gemittelten Absorptionskoeffizienten zwischen 0.001 1/cm und 0.1 1/cm aufweist. 85

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 33 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Wanddicke der Reaktionskammer zwischen 1 mm und 5 cm beträgt. 90

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung oder Heizquelle wenigstens ein Filament mit wenigstens teilweise gewendelter Filamentstruktur umfassen. 95

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Filamentstruktur der Lampe ein vordefiniertes geometrisches und spektrales Abstrahlprofil erzielbar ist. 100

39. Vorrichtung nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß das Filament der Strahlungsquelle abwechselnd gewendelte und ungewendete Filamentstrukturen umfaßt. 105

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 37 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle zwei einzeln ansteuerbare Fäden umfaßt. 110

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 37 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Filament wenigstens drei elektrische Anschlüsse umfaßt. 115

42. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung oder Heizquelle wenigstens eine Halogenlampe umfaßt. 120

43. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 37 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß die Dichte wenigstens einer Filamentstruktur entlang des Filaments variiert. 125

44. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Heizvorrichtung oder Heizquelle wenigstens eine Bogenlampe umfaßt. 130

45. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Anordnung der Heizvorrichtung oder Heizquelle und eines Kanalkörpers relativ zueinander der Strahlungsdetektor ein Signal generiert, das frei von Einflüssen von Filamenthaltevorrichtungen oder anderer, die Strahlungstemperatur der Strahlungsquelle beeinträchtigenden Mittel ist. 135

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

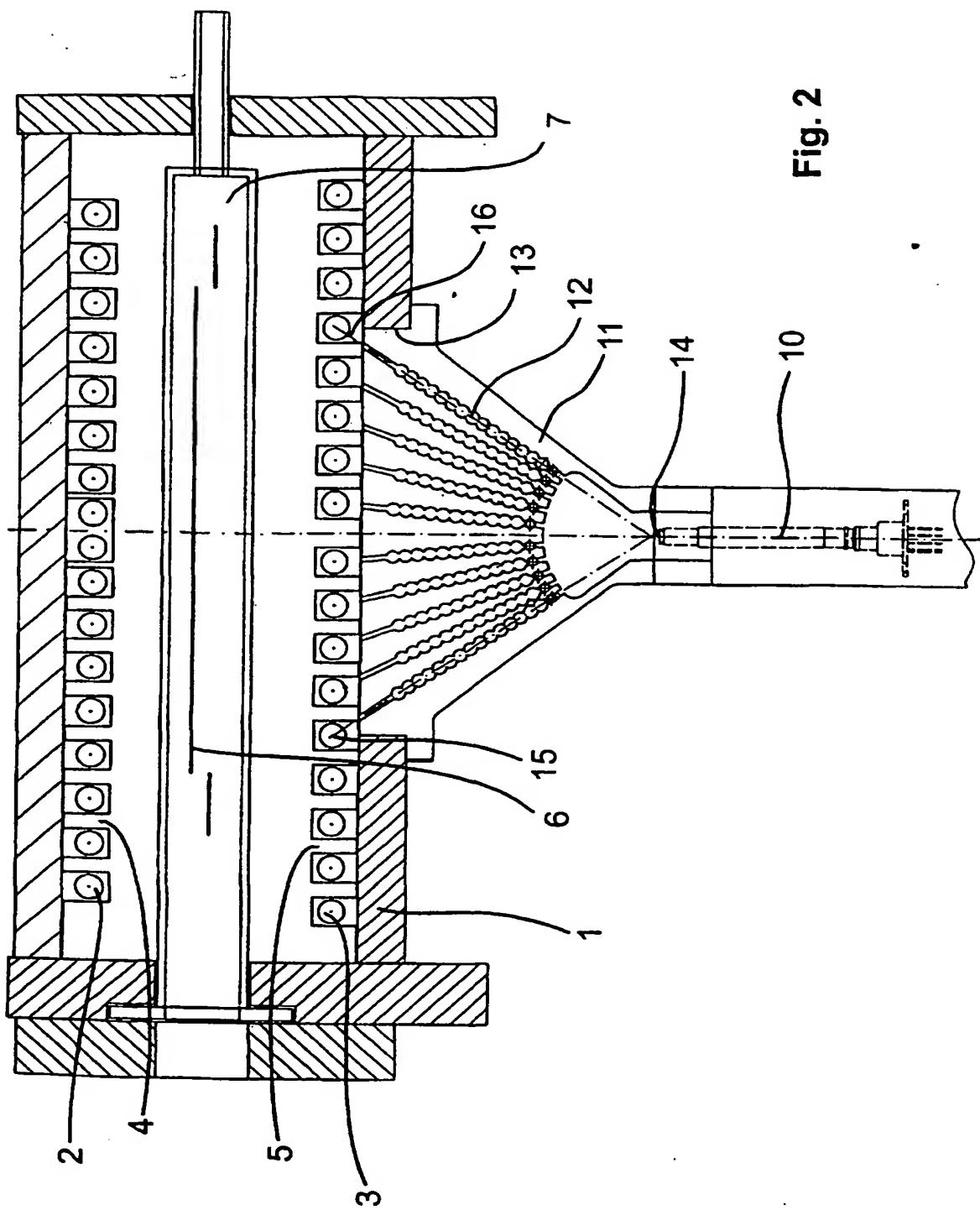


Fig. 2

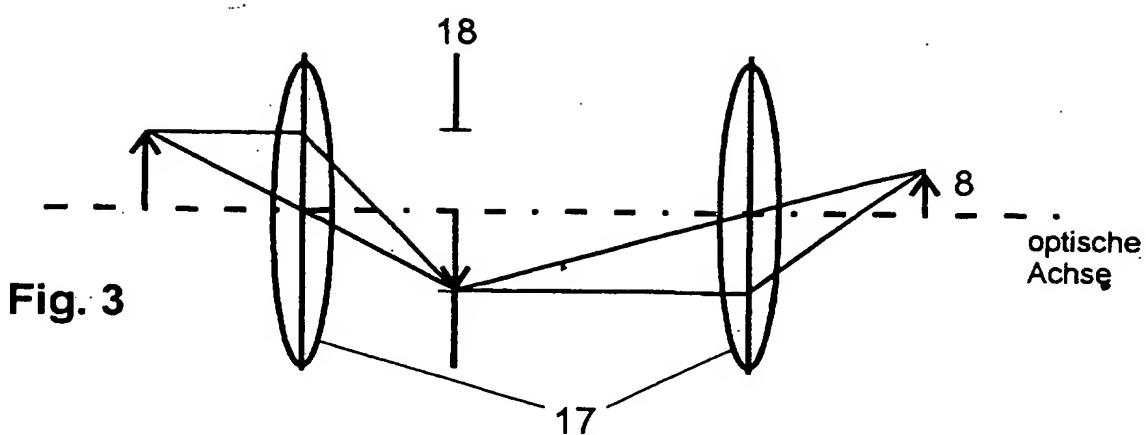


Fig. 3

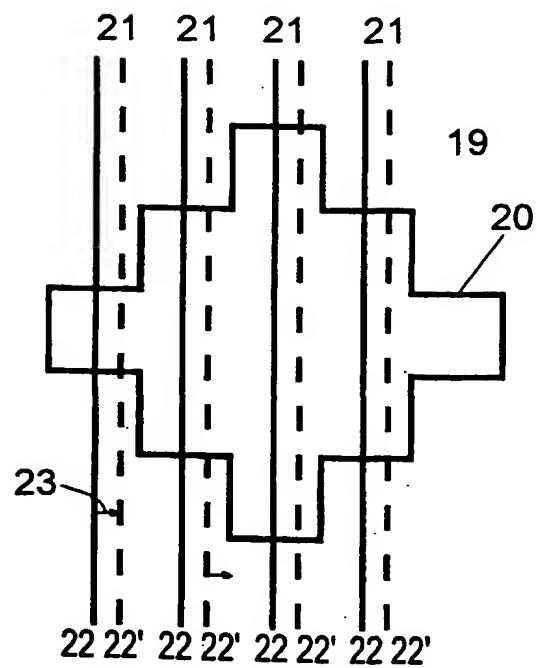


Fig. 4

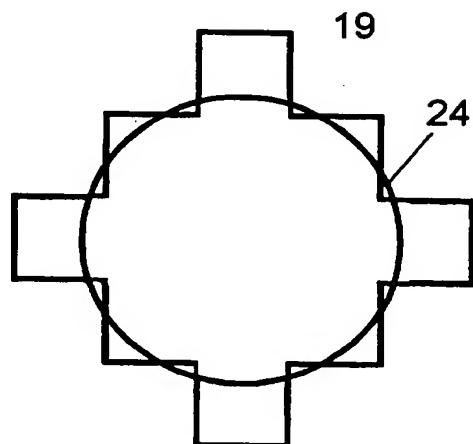


Fig. 5

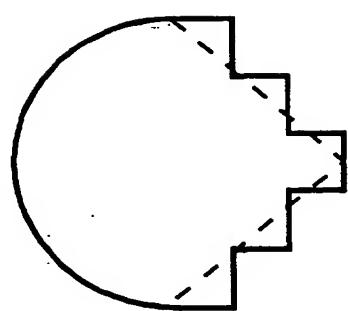


Fig. 6

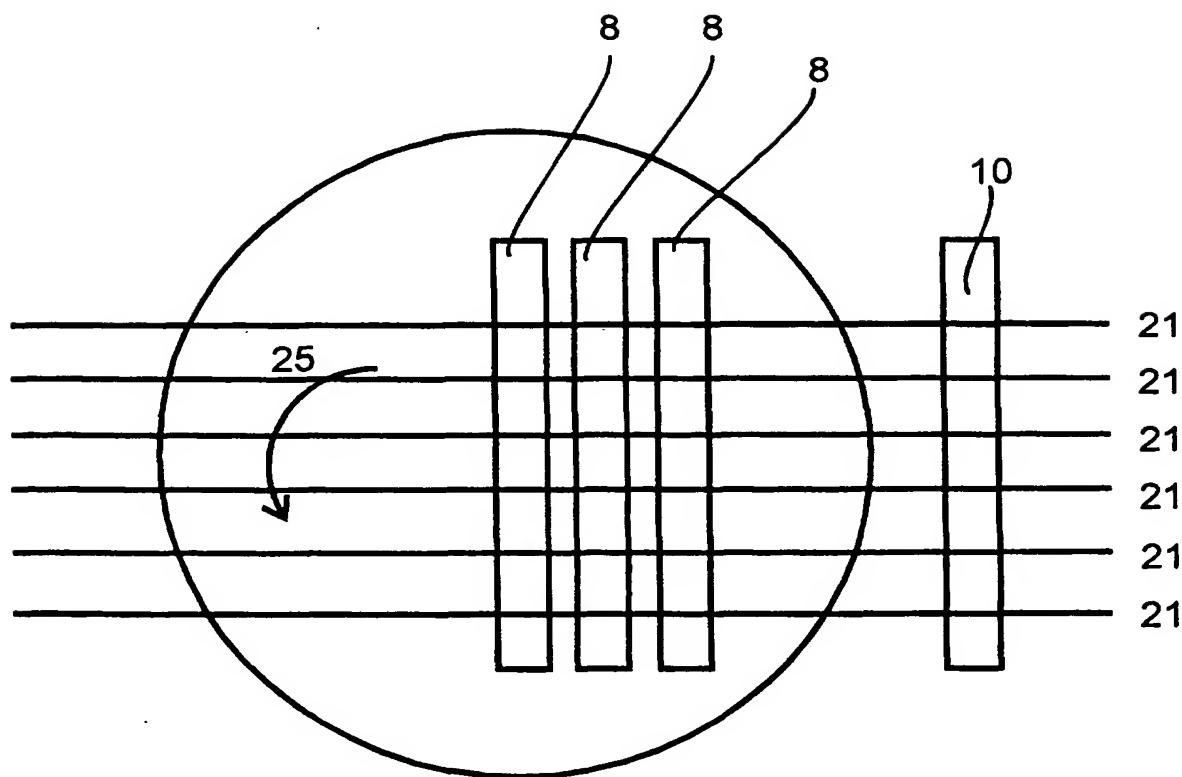


Fig. 7

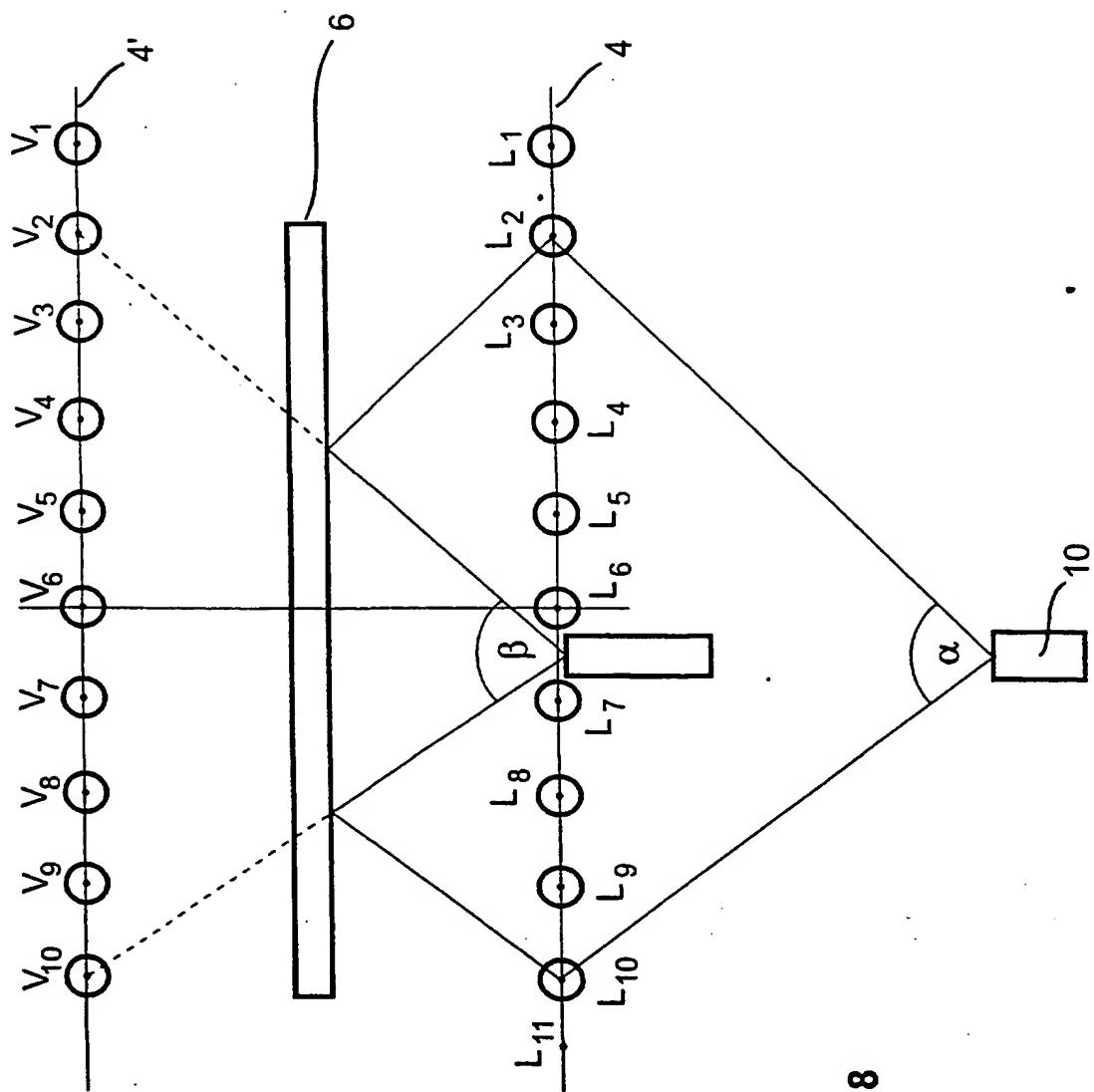


Fig. 8

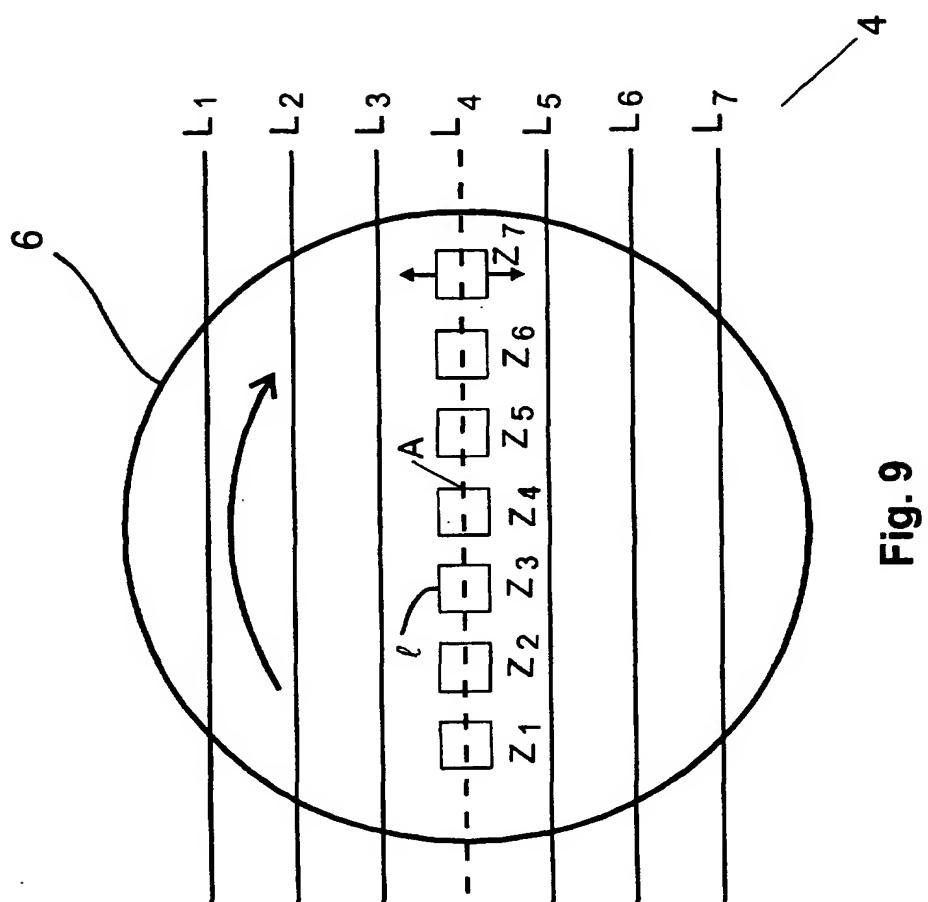


Fig. 9

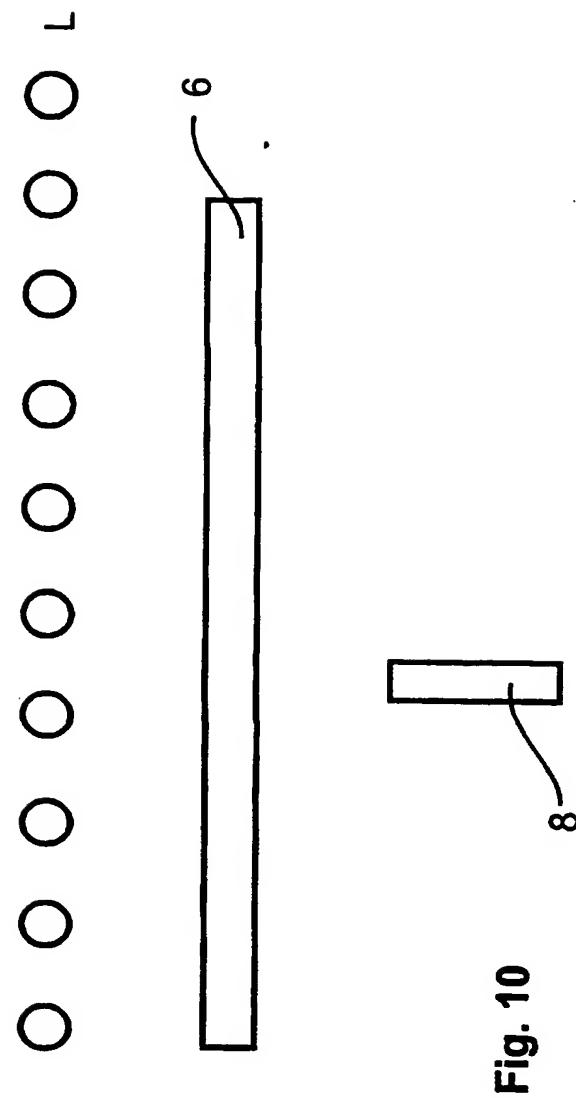


Fig. 10

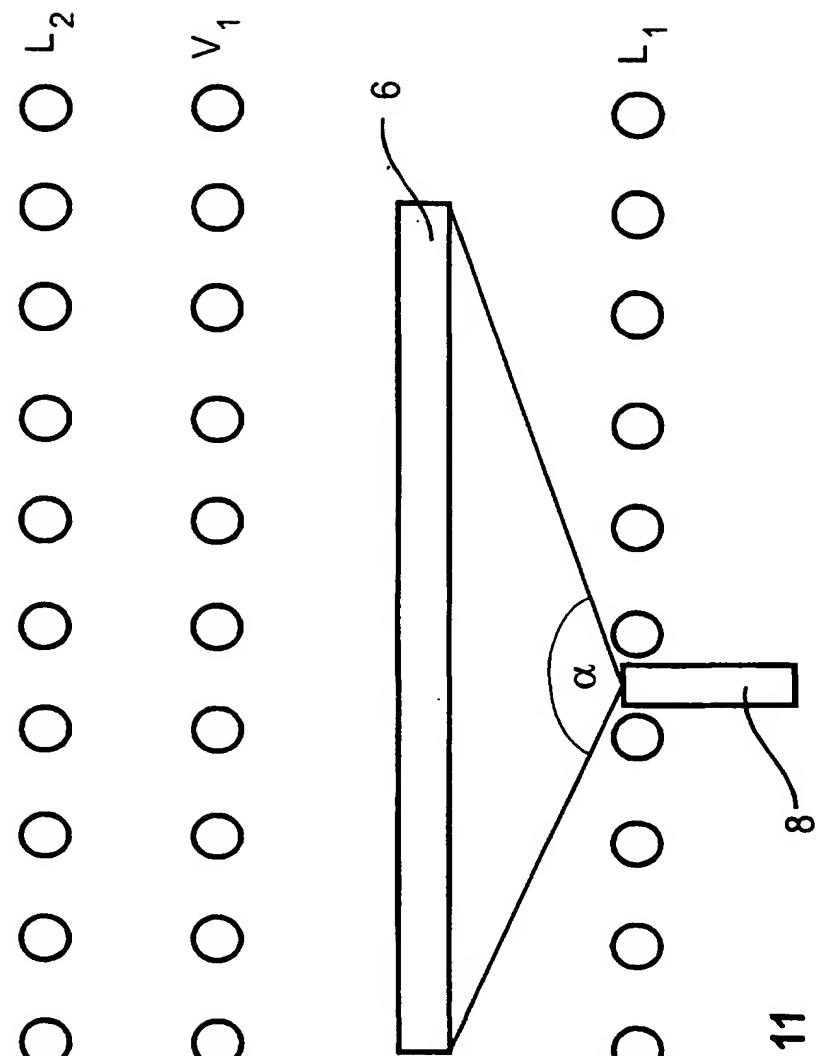


Fig. 11

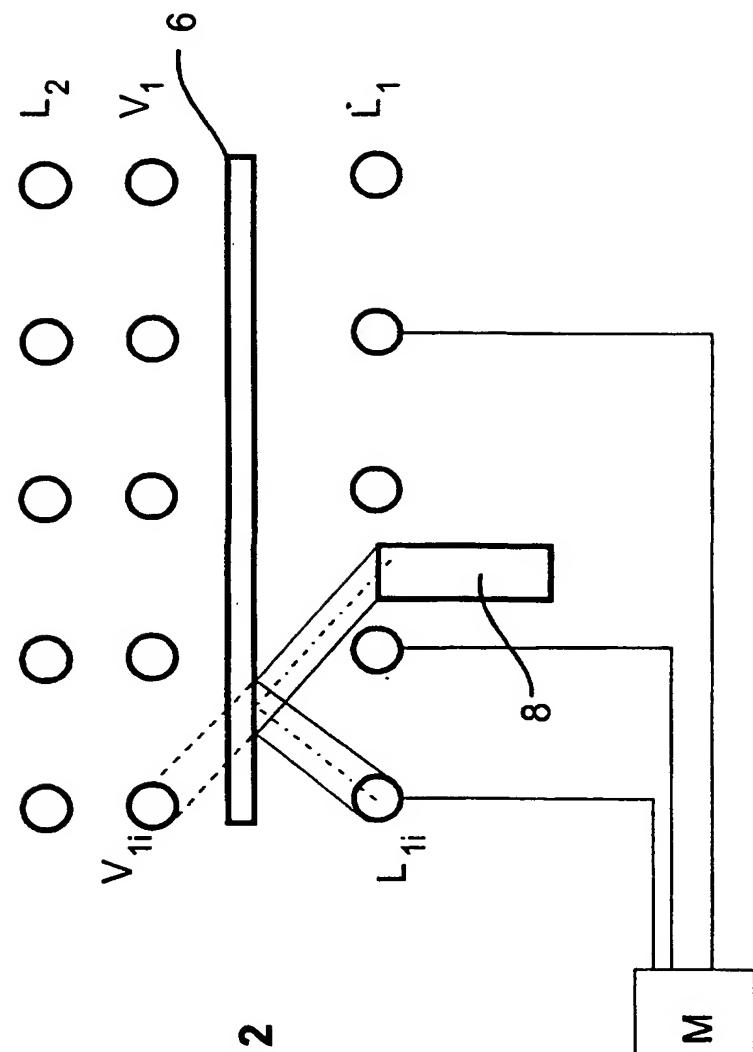


Fig. 12

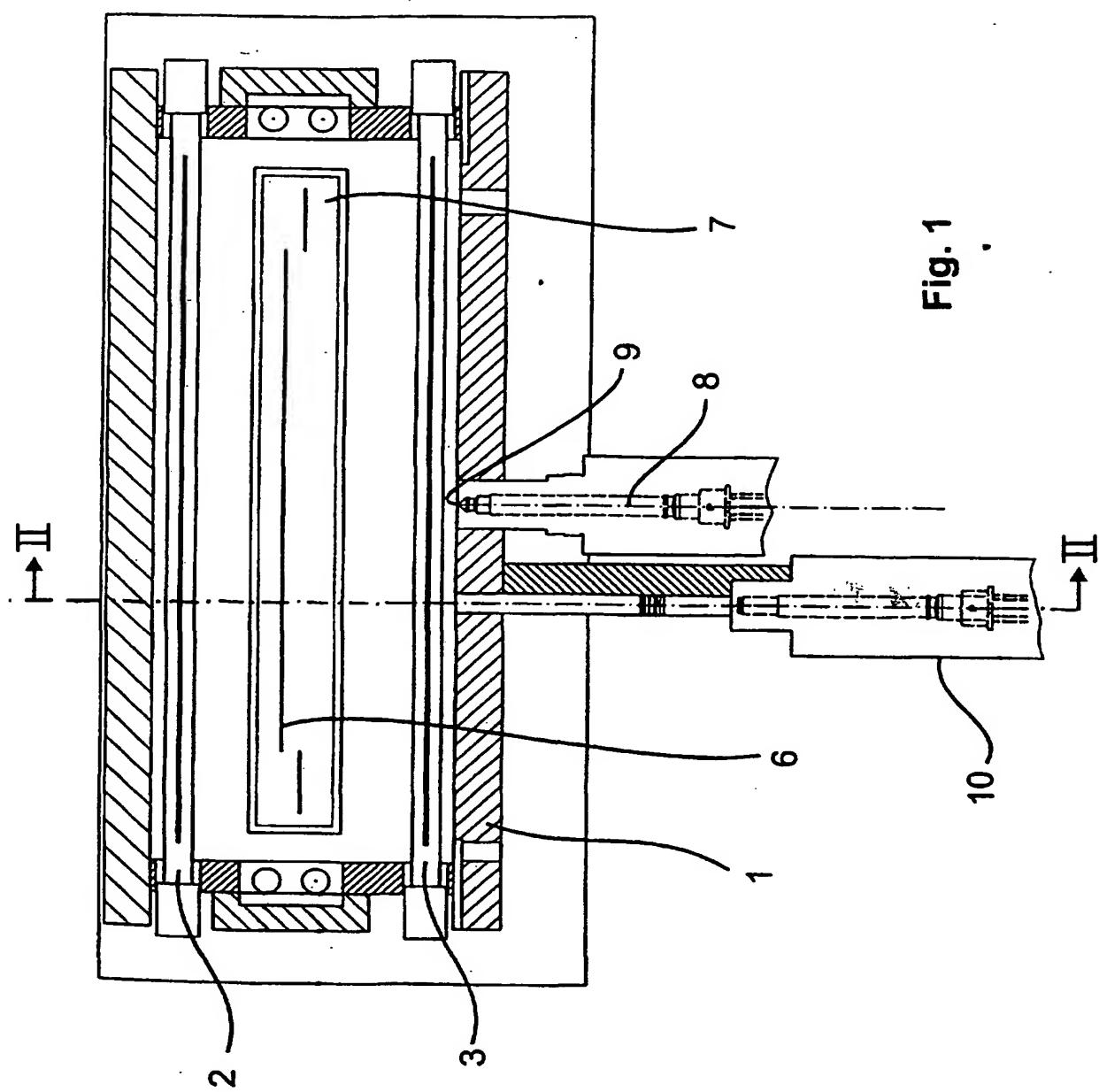


Fig. 1